

高速插秧机无线遥控驾驶系统的设计

谢昌盛, 蒋蘋*, 胡文武, 罗亚辉, 童艳利

(湖南农业大学 工学院, 湖南 长沙 410128)

摘要:针对 2ZG630A 型插秧机设计了一套基于 STC 单片机和 NRF24L01 无线数传模块的遥控驾驶系统。遥控驾驶系统采用带位置传感器的电动推杆来控制速度的大小与方向, 通过步进电机带动方向盘达到控制插秧机转向的目的, 并设计了控制发动机的点火/熄火电路。系统下位机软件采用模糊控制算法实现了对插秧机转向和速度的精确控制, 利用基于 VB.NET2008 编写的上位机软件, 通过 2.4G 无线模块来与下位机进行通讯, 达到遥控插秧机的目的。经试验, 在 100 m 遥控距离内, 系统运行可靠, 响应速度快, 控制平滑灵敏。

关键词: 高速插秧机; 遥控驾驶; 模糊算法

中图分类号: S223.91⁺² 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2012)04-0441-05

Research on driving system with wireless remote control in high speed rice transplanter

XIE Chang-sheng, JIANG Pin*, HU Wen-wu, LUO Ya-hui, TONG Yan-li

(College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: A remote controlled driving system based on STC MCU and NRF24L01 wireless-data-transmitting module has been designed for 2ZG630A transplanter. The remote controlling system uses electric motivated handspike with the position sensor to control the speed and the direction through the steering wheel driven by stepping motor, and ignition/flameout circuit was designed to control the ignition/flameout of the engine. Through the fuzzy controlling algorithm adopted in the software of slave computer, the direction and speed was controlled precisely. With the communication between the software of host computer written by VB. NET2008 and slave computer through wireless module of 2.4G, the remote control of the rice transplanter was realized. From the test, we can get the conclusion that the system is reliable, the response velocity is fast and the control device is sensitive within a distance of 100 m.

Key words: high speed rice transplanter; remote controlled driving; fuzzy algorithm

1999 年,日本农林水产省农业研究中心在基于 GPS 定位技术基础上研发了插秧精度为 8 cm 的无人驾驶插秧机^[1]。中国华南农业大学研究成功了基于 RTK-GPS 和电子罗盘的久保田 SPU-68 型插秧机自动导航驾驶系统^[2]。为保证插植秧苗的精度, 这些研究都是在基于高精度 GPS 基础上完成的, 由于价格昂贵, 难以在经济欠发达的南方丘陵水稻产

区推广使用。株洲现代农装生产的 2ZG630A 型插秧机为电启动发动机, 液压助力转向, 主变速器采用 HST 液压无级变速器来控制插秧机前进或后退的速度。为了开发低成本的基于双激光源定位的无人驾驶插秧机, 笔者对 2ZG630A 型插秧机运动控制系统进行了改造, 拟通过无线遥控的方式验证其准确性与可靠性, 以期通过设计遥控驾驶系统, 控

收稿日期: 2011-12-12

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD20B08); 湖南省自然科学基金项目(09JJ6091)

作者简介: 谢昌盛(1986—), 男, 湖南石门人, 硕士研究生, 主要从事农业电子技术与自动控制方面研究, xcs723@163.com; *通信作者, teacher_jp@163.com

制插秧机的速度和方向及发动机点火/熄火,实现对插秧机在 100 m 范围内的遥控驾驶。

1 遥控驾驶系统总体结构与工作原理

遥控驾驶系统包括上位机和下位机两大部分。上位机由 PC 机和 1 个 2.4G 无线数据收发器组成,二者通过串口进行数据交换;下位机由中央处理器、2.4G 无线收发模块和各个控制单元组成,直接执行控制命令。上位机和下位机之间通过 2.4G 的无线模块进行协议通信,下位机收到上位机的控制命令后执行相应的动作。

在上位机遥控插秧机工作时,需要控制发动机的点火/熄火、转向、前进与后退速度等。发动机点火/熄火采用专用的单元电路控制,系统将点火/熄火模块与发动机启动开关并联,中央处理器在收到相关命令后,通过点火/熄火单元电路控制发动机的点火或熄火。插秧机转向采用步进电机带动方向盘来实现,步进电机和方向盘转轴用同步带轮连接;为检测前轮转过的角度,在插秧机转向轴上安装绝对式编码器来采集方向盘转动角度;利用中央处理器产生 PWM 信号驱动步进电机以控制步进电机旋转的速度、方向和角度,达到控制方向的目的;系

统采用带有位置传感器的电动推杆控制 HST 液压无级变速器调速实现对机组前进与后退速度的控制。电动推杆内部动力采用直流电机,并置电位器位置传感器,中央处理器通过 PWM 信号驱动直流电机的驱动模块使之控制电动推杆的运动,并且通过处理器自带的 A/D 转换功能实时检测位置传感器的信号,确定电动推杆的位置,从而实现主变速器的精确控制。

2 电路设计

2.1 中央处理器系统电路

中央处理器选用 STC12C5A60S2 单片机。该单片机为增强型 8051 单片机,单时钟/机器周期,工作电压为 3.5 ~ 5.5 V,工作频率 0 ~ 35 MHz,32 K 的 ROM 和 1.28 K 的 SRAM,内部集成 MAX810 专用复位电路和看门狗,具有 2 路 PWM 输出,10 位精度 A/D 转换以及全双工异步串口^[3]。单片机外围电路如图 1 所示。系统选用 11.0592 MHz 的晶振,利用 MAX232 实现 TTL 电平与 RS232 电平之间的转换,为单片机提供程序下载和调试接口。

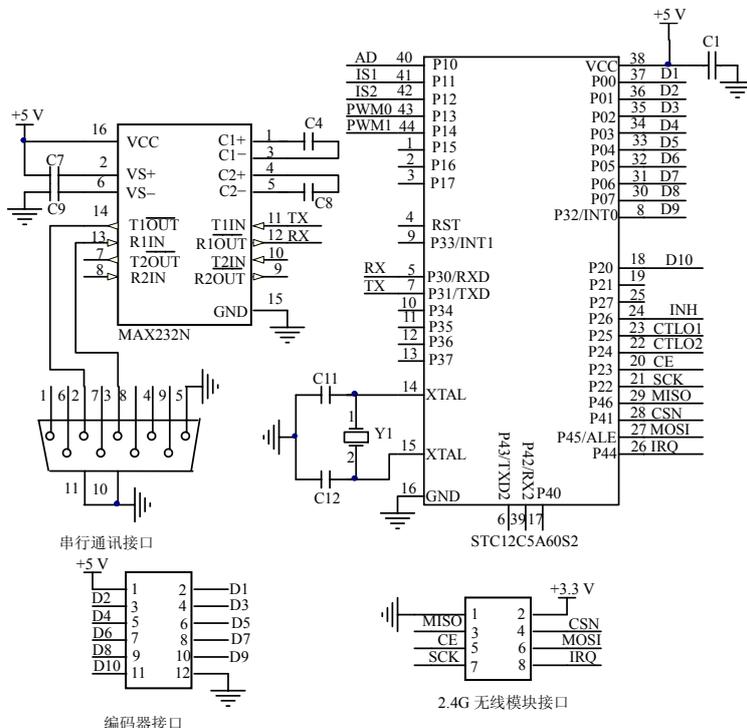


图 1 中央处理器电路

Fig.1 Circuit of central processing unit

为保证遥控距离和降低成本,无线通讯模块采用基于 nRF24L01 芯片的 2.4G 无线射频模块,通过与单片机 SPI 接口进行数据交换。该通讯模块为 3.3V 供电,有增强型 SchokBurst™ 模式控制器,能自动重发丢失数据包和自动产生应答信号,遥控距离约为 100 m,传输速率最大为 2 Mbps,空中传输时间很短,极大地减少了无线传输中的数据碰撞现象^[4]。

编码器选用欧姆龙的绝对式编码器(5 V 供电),采集精度为 0.5 度,编码器的输出为格雷码输出^[5]。单片机直接读取编码器输出的格雷码值,经过程序转换后即可得到角度信息。

2.2 速度控制电路

插秧机 HST 液压无级变速器采用电动推杆来

控制,为使控制精确平稳,HST 变速器要求电动推杆能够以微小的伸缩量来对其控制;因此,系统利用单片机产生的 PWM 信号对其控制。电路原理如图 2 所示。主要由 2 个 BTS7970B 直流电机驱动芯片和 CD4052 多路复用及模拟开关芯片组成。2 个 BTS7970B 芯片组成了 1 个全桥驱动电路,单片机通过给 INH 引脚高电平来使能 2 个芯片^[6]。CD4052 则根据选通的通道^[7]将 PWM 脉冲送入到 IN1 或 IN2 中,这样就能实现改变桥式电路中电流的流向,从而能够控制电动推杆的伸缩。电动推杆自带电位器式位移传感器,系统利用单片机内部自带的 10 位 A/D 转换器直接采样得到电动推杆的位置信息。

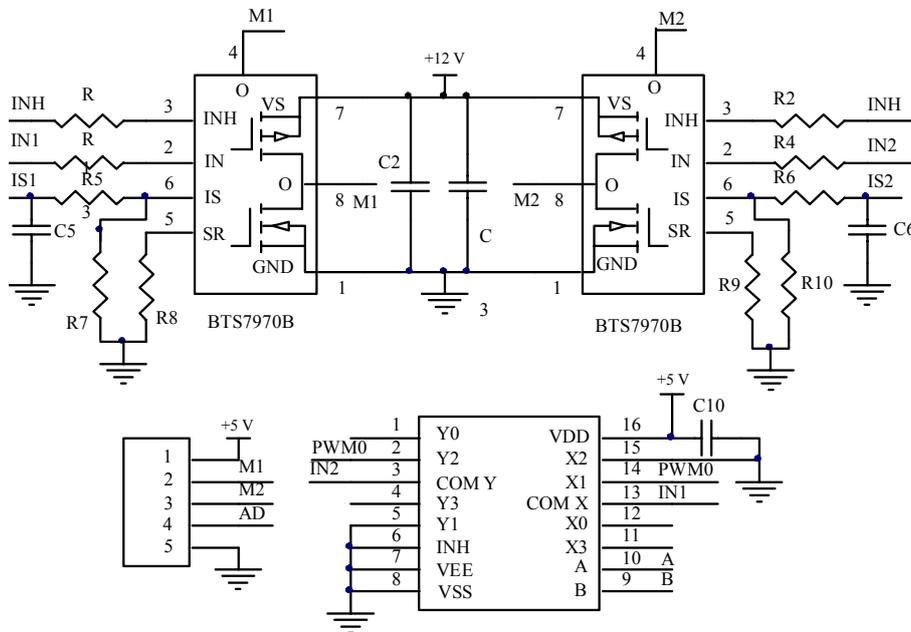


图 2 速度控制电路

Fig.2 The controlling circuit of speed

2.3 点火/熄火模块电路

发动机启动包括 3 个步骤,首先要接通发动机点火系统的电路,再接通启动系统的电路,最后发动机启动后还要将启动系统的电路及时断开^[8]。如图 3 所示,电路中主要元件为 PC817 光耦芯片和 2 个继电器 Delay1 和 Delay2。利用光耦可将外界电路与单片机电路隔离,提高了系统的控制性能和可靠性。电路中 Delay1 用来控制发动机的点火系统电路的开关,而 Delay2 则用来控制发动机启动系统的

电路开关。系统控制时首先通过单片机控制使光耦导通,继电器的常开端口吸合,接通发动机的点火系统电路,延时约 1 s 后接着单片机接通 Delay2 启动发动机,Delay2 接通延时约 2 s 后立即切断启动系统电路,防止损坏启动电机。

STC12C5A60S2 单片机在上电复位时普通的 I/O 口为弱上拉高电平输出,当硬件系统上电时可能误动作导通光耦芯片,从而接通继电器导致发动机点火启动,为了防止这种情况的发生,电路中设

置了下拉电阻 R14 和 R19。由于单片机内部为弱上拉，上拉能力有限，而外部的下拉电阻很小，无法将单片机的 I/O 口拉高，防止出现误动作。当要将此下拉的 I/O 口配置为高电平时，只需要在软件中配置 I/O 口为强推挽输出，就很容易将 I/O 口拉高^[2]。为延长光耦的使用寿命，给光耦加了限流电阻。在

继电器线圈两端并联了 1 个续流二极管，防止在断电瞬间继电器线圈产生的感应电流击穿光耦芯片。同时，为防止意外，在点火系统电路与启动系统电路的公共端安装有急停开关，用于紧急断电熄火，以提高整个系统的安全性。

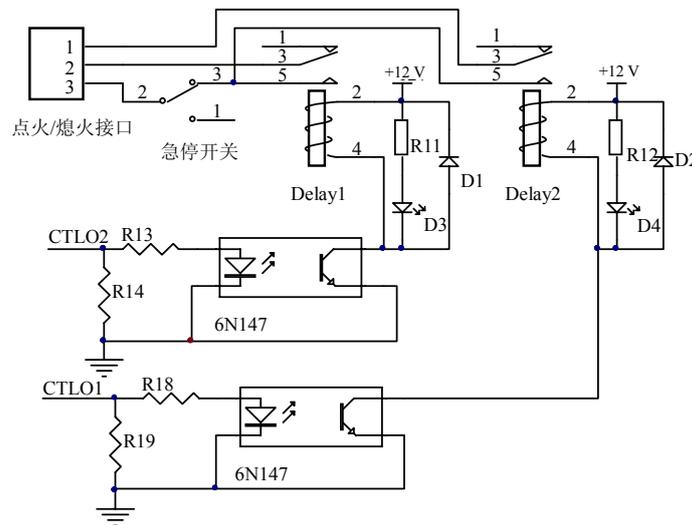


图3 点火/熄火电路

Fig.3 Circuit of ignition/flameout

3 软件设计

上位机软件采用 VisualBasic.net2008^[9]开发，下位机软件则直接控制各个执行模块。下位机软件为实现对转向和速度的精确控制，采用模糊控制算法。

3.1 档位与方向盘模糊控制

遥控驾驶系统对于方向盘与档位 2 个闭环系统的控制均采用模糊控制算法^[10-11]。

1) 方向盘模糊控制系统。为提高控制精度，选用二维模糊控制系统，模糊控制系统原理如图 4 所示。模糊控制系统的核心是模糊控制器，系统总输

入目标转角 R 。模糊控制器首先将输入的角度偏差 e 和角度偏差变化率 $ec=de/dt$ 进行模糊化，根据设计的模糊规则进行模糊推理，并将模糊推理的结果通过模糊判决进行解模糊后输出 1 个值^[12]，将此值乘上系数 k_u 后即能得到控制步进电机的脉冲频率 u 。步进电机是整个模糊控制系统的控制对象，模糊控制系统的监测反馈部件是绝对式的编码器，系统通过实时监测编码器的输出来提取模糊控制器的输入参数 e 和 ec 。

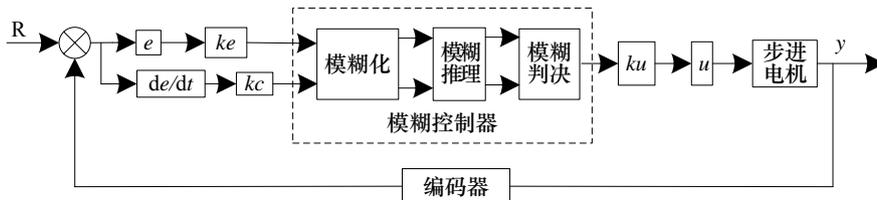


图4 方向模糊控制

Fig.4 The fuzzy control of direction

2) 模糊控制策略设计。将模糊控制器的输入参

数 e 和 ec 以及输出值 u 分别通过系数 k_e 、 k_{ec} 、 k_u 量化后得到各自的离散论域^[11]，都为 $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ ，选定各离散论域上的模糊子集都为 $\{NB,$

$NS, ZR, PB, PS\}$: 根据系统输出的角度偏差及角度偏差的变化趋势来消除误差的原则, 利用模糊条件语句建立控制规则^[12], 如表 1 所示。

表 1 模糊规则推理表

$F(E)$	$F(EC)$				
	NB	NS	ZR	PS	PB
NB	PB	PB	PS	PS	ZR
NS	PB	PS	PS	ZR	ZR
ZR	PS	PS	ZR	ZR	NS
PS	PS	ZR	ZR	NS	NS
PB	ZR	ZR	NS	NS	NB

3) 模糊控制系统输出。在角度偏差 $e \in [-0.523, 0.523]$, 角度偏差变化率 $ec \in [-0.262, 0.262]$ 和 PWM 信号频率 $u \in [-356, 356]$ 的情况下, 根据模糊规则, 经计算得到模糊系统的输出查询表, 如表 2 所示^[12]。

表 2 模糊输出表

E	EC						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
-3	280	273	273	0	179	120	0
-2	273	198	198	179	104	104	0
-1	273	198	179	179	0	0	0
0	178	179	179	0	0	-103	-178
1	179	104	0	0	-178	-178	-178
2	120	104	0	-103	-178	-197	-197
3	0	0	0	-178	-178	-197	-279

模糊控制器程序通过中央处理器来执行, 处理器通过采样编码盘的数据并将其模糊化, 然后进行模糊推理和精确输出等过程。处理器在执行模糊推理程序后, 根据最大隶属度原则得到 EC 和 E 值, 查询表 2 中对应的数值即为从单片机的 I/O 口输出对应的 PWM 脉冲频率, 从而控制步进电机的转动速度和转动方向, 达到控制方向盘转向的目的。

3.2 下位机软件设计

系统启动后要进行电路系统的初始化, 包括通讯端口、I/O 口等初始化工作; 完成后系统自动将 HST 变速器档位和方向盘进行归中, 然后等待上位机的控制命令。通常情况下, 上位机在工作时按照通讯协议发送控制命令^[13], 当没有下发控制命令时, 为了保证系统的安全性和可靠性, 上位机会每隔 0.2 s 自动下发 1 个心跳数据包, 用来确认通信质量。在下位机软件中设置了超时退出功能, 当现场的通讯质量不佳或通讯中断时, 下位机在 0.6 s 内接收不到上位机发出的任何数据包时, 即判断为通讯

故障, 为安全起见, 系统将自动执行发动机熄火停机命令。

4 试验与结论

遥控系统完成后安装在插秧机上进行检验。结果表明, 在供电充足、无无线电干扰的情况下, 系统的可靠遥控距离可达 100 m, 对方向盘和 HST 档位的控制稳定, 输出平稳, 无抖动现象。当遥控距离超过 110 m 后, 无线通讯开始出现中断的情况, 系统变得不稳定。

参考文献:

- [1] 長阪善禎. 自動行走田植機の開發[J]. 農業機械學會誌, 1999, 61(6): 179-186.
- [2] 胡炼, 罗锡文, 张志刚, 等. 基于CAN总线的分布式插秧机导航控制系统设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 88-92.
- [3] 宏晶科技. STC12C5A60S2 系列单片机器件手册[EB/OL]. (2011-07-05). <http://www.stcmcu.com/>.
- [4] NORDIC SEMICONDUCTOR .nRF24L01 Single Chip 2.4GHz Transceiver Product Specification[EB/OL]. (2007-08). http://www.corelabs.cn/shared_folder/CORELabs_PROJECTS/RF-Link/nRF24L01.pdf.
- [5] OMRON . E60C3-A 编码器技术指南[EB/OL]. (2011-09-01). <http://img20.gkzhan.com/5/20110901/634504322236680279.pdf>.
- [6] INFINEON . BTS7970B Datasheet[EB/OL]. (2006-05). http://www.infineon.com/dgdl/BTS7970B_Datasheet.pdf?folderId=db3a304412b407950112b408e8c90004&fileId=db3a304412b407950112b43949b36d61.
- [7] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR .CD4052BC Datasheet [EB/OL]. (2000-08). http://www.datasheet5.com/preview_3447954_pi_1.html.
- [8] 范迪彬. 汽车构造[M]. 上册. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2000: 208-228.
- [9] 伊夫杰, 郝利斯. Visual Basic 2008 高级编程[M]. 5 版. 北京: 清华大学出版社, 2009: 514-623.
- [10] 党建武. 模糊控制技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007: 87-150.
- [11] 蒋蘋, 胡文武, 罗亚辉, 等. 基于模糊算法与3σ法则的比例遥控系统研究[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2009, 35(3): 325-328.
- [12] 王立新. 模糊系统与模糊控制教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 70-90.
- [13] 蒋蘋, 胡文武, 孙松林, 等. 水田作业机械遥控系统设计[J]. 农机化研究, 2009(6): 62-68.

责任编辑: 罗慧敏